

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭61-141566

⑪ Int. Cl.⁴

B 41 J 3/04

識別記号

1 0 3

庁内整理番号

7513-2C

⑬ 公開 昭和61年(1986)6月28日

審査請求 有 発明の数 1 (全9頁)

⑭ 発明の名称 インクジェットヘッド

⑮ 特 願 昭60-254557

⑯ 出 願 昭55(1980)11月28日

⑰ 特 願 昭55-168719の分割

⑱ 発 明 者 小 藤 治 彦 塩尻市大字広丘原新田80番地 信州精器株式会社内

⑲ 出 願 人 エプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

⑲ 出 願 人 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

⑳ 代 理 人 弁理士 最 上 務

明 細 書

1. 発明の名称 インクジェットヘッド

2. 特許請求の範囲

加圧室の圧力を高めて液滴射出路より液体インクを射出し、記録媒体に記録を行なうインクオンデマンド型印刷装置のインクジェットヘッドにおいて、加圧室に直接連通する液体射出路と、前記加圧室に直接連通する供給路と、前記加圧室の腔面を形成する平板状の振動板と、該振動板に積層された平板状の圧電素子からなり、前記圧電素子と振動板とからなる振動系の音響容量 C_0 が $9 \times 10^{-17} \text{ m}^5 / \text{N}$ 以下であり、かつ81系 $\text{m} \times \text{m}$ 単位で表わした時、前記液体射出路のイナータンス m_1 と音響抵抗 r_1 が $r_1 \geq 10^4 \times m_1$ であることを特徴とするインクジェットヘッド。

3. 発明の詳細な説明

本発明は、インクオンデマンド型インクジェ

ットヘッドに係わり、特に小型化された印字ヘッドに関する。

圧電素子の変形により加圧室の容積を減少させ、加圧室に連通したノズルより液体インクを射出するインクオンデマンド型インクジェットは、印字エネルギーが小さく、マルチノズル化が可能なため注目されている。インク射出の構造は極めて簡単であるが、インクの射出が過渡的な状況で行なわれ、また印字ヘッド自体の大きさが小さいため圧力・流量等の測定が困難であるなどの理由から、その理論的解析は完全とはいえなかつた。

漢字プリンタ等に必要とされる24ノズル以上の高集積化されたマルチノズルヘッドにおいては、個々の加圧室および圧電素子はなるべく小さいことが望ましい。しかしながら前述した理論的解析の不完全さから、加圧室の大きさの下限については明らかでなかつた。そして一般的には、圧電素子の厚さ $t_p \approx 0.3 \text{ mm}$ 、圧電素子の直径 $\phi \approx 5 \text{ mm}$ 程度以上の大きさの圧電素子が用いられていた。また圧電素子を小さくすれば駆動力が小さくなる

ため、電圧を上げなければならず、実用上不利であると考えられていた。たとえばStemme等はIEEE Transaction on Electron Devices, ED-20 巻1, 14 (1973)において、上記の $\phi p = 0.3 \text{ mm}$ 、 $D = 5 \text{ mm}$ の例を述べており、松田等は昭和55年画像電子学会第8回全国大会予稿集—予稿6において、短冊型の圧電素子で $\phi p = 0.3 \text{ mm}$ が最も変形効率が良いと述べている。この場合、圧電素子の大きさは約 $2 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ 程度と推定され、ヘッド小型化のためには、かならずしも満足なものではなかつた。また圧電素子の面積が大きくなることは、それだけ圧電素子およびヘッド本体を構成する基板の価格があがり、特に高集積ヘッドにおいては、多数の圧電素子を使うため影響が大きかつた。またマルチノズルの場合、圧電素子が大きくなると、配線の関係からノズル先端から加圧室までの距離が遠くなり、流路抵抗が増加する。抵抗増加に対してさらに圧電素子の駆動力を増す必要から、圧電素子の面積を増さねばならないという悪循環に陥っているとい

力を音響容量とみなしたものである。また添字0は、振動系0を表わすものとする。単位として圧力： φ (N/m²)、体積速度： u (m³/s)、イナータンス： m (kg/m⁴)、音響容量： C (m⁵/N)、音響抵抗： r (Ns/m⁴)を用いる。実際に各定数を計算すると、 m_0 、 r_0 、 C_1 、 C_2 等は無視でき、第2図のような簡略な等価回路となる。ここで $m_2 = Km_0$ 、 $r_2 = Kr_0$ とみなし、圧力 φ をステップ関数として解くと、

$$\text{減衰係数： } D = r_2 / 2m_2 \quad \dots\dots\dots ①$$

$$\text{角周波数： } \omega = \sqrt{\frac{(1+1/k) - D^2}{m_2 C}} \quad \dots\dots\dots ②$$

として

$$u^0 = \frac{\varphi C_0}{m_1 C \omega} \exp(-Dt) \sin \omega t \quad \dots\dots\dots ③$$

ただし

$$C = C_0 + C_1 \quad \dots\dots\dots ④$$

で表わされる減衰振動となる。

式③から必要圧力 φ は

う欠点があつた。

したがって本発明の目的は、駆動電圧を上げることなしに印字ヘッドを小型化することにある。

本発明の他の目的は、流路抵抗の増加がなく、効率の良いマルチノズルヘッドを得ることにある。

本発明のさらに他の目的は、印字ヘッドの価格を下げることにある。

前述したように、インクオンデマンド型印字ヘッドの理論的解析はかなり難しいが、本発明者等は、印字ヘッドの等価電気回路モデルによつて解析を行なつた結果、駆動電圧上昇等の悪影響なしに圧電素子を小型化できることを発見した。

第1図(a)に印字ヘッドの等価電気回路を示す。

m はイナータンス、 C は音響容量、 r は音響抵抗である。第1図(b)は印字ヘッドの概略を示し、10は圧電素子、1と振動板12からなる振動系を表わし、1は加圧室、2は供給部、3はノズル部を示すものとする。なお第1図(a)の添字は、第1図(b)に示す各部分を表わす。ただし C_1 はインクタンク4の音響容量、 C_2 はノズル3の表面張

$$\varphi = \frac{V m A m_2 C \sqrt{R^2 + D^2}}{C_0 \exp(-D \arctan(R/D)) R} \quad \dots\dots\dots ⑤$$

ただし、 V は必要速度、 A はノズル断面積と表わせる。

またインク滴体積 q は

$$q = \frac{\varphi \cdot C_0}{(1+1/k)} (1 + \exp(-Dt)) \quad \dots\dots\dots ⑥$$

ただし

$$t m = \frac{\pi}{\omega} \quad \dots\dots\dots ⑦$$

と表わせる。

$$V = \sqrt{\frac{2 \varphi^2 C_0}{k^3 C p}} \quad \dots\dots\dots ⑧$$

ただし、 C_p は圧電素子容量、 k は定数で、実験では k は0.1から0.3の値であつた。また容量 C_p は

$$C_p = \epsilon \phi p / t p \quad \dots\dots\dots ⑨$$

ただし、 ϵ は誘電率、 ϕp は圧電素子面積、 $t p$ は圧電素子厚さで表わせる。

また各定数は次のように与えられる。ただし、
圧電素子が円板の場合について示す。

$$C_0 = \frac{\pi a^4}{K_1 E p t p^3 K_2 E v t v^3} \dots \dots \dots ⑩$$

$$C_1 = \frac{\pi a^3 d c}{V a^3 \rho} \dots \dots \dots ⑪$$

$$r = \frac{32 \eta L}{\pi d^3} \dots \dots \dots ⑫$$

ただし、

$E p$: 圧電素子の縦弾性係数、 $E v$: 振動板の縦弾性係数、 K_1, K_2 : 定数で、実験では $K_1 \approx 5$ 、 K_2 は約 10 ~ 20 の値であつた。 a : 圧電素子の半径、 $t p$: 圧電素子の厚さ、 $t v$: 振動板の厚さ、 $d c$: 加圧室の深さ、 V : インク中の音速、 ρ : インク密度、 η : インク粘度、 L : 流路長、 π : 流路断面積、 d : 流路直径、長方形断面の場合には等価直径 ($d \approx 2.8 / (b + c)$)、 b, c : 流路断面の辺である。

以上の定数を第 5 図 (a)、(b) に示す。

上述の計算式によつて求めた例を以下に示す。

は約 146 μs であるなど、完全に一致はしないが、実際の動きが前述した理論によつてかなり説明できることがわかる。なお、実験振動波形 (a) は、測定方法の不完全さのため 100 μs 以前の突位は測定されていない。また、(a) と (b) の縦軸は同じではない。

次に、上記の計算式を用いて、圧電素子を小型化する本発明の実施例について述べる。

$m_1 \approx 2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 $r_2 \approx 3 \times 10^{12} \text{ N s/m}^2$ とし、 $V = 5 \text{ m/s}$ 、 $\lambda = 2.4 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ 、 $K = 0.2$ 、 $\epsilon = 2070 \times 0.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 、 $E p = 5.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ 、 $E v = 7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ 、 $K_1 = 4.4$ 、 $K_2 = 1.1$ 、 $d c = 0.1 \text{ m}$ 、 $V a = 1460 \text{ m/s}$ 、 $x = 1$ とし、 $t p = t v$ として圧電素子の厚さ $t p$ と、半径 a を変化させた時の必要電圧 V の計算結果を、第 6 図のグラフに示す。

この結果から、最も低い電圧で印字するためには、流路系の m や r が一定の時には、圧電素子の厚さ $t p$ に対して最適な半径 a があり、その条件では最低電圧はほぼ一定の値をとることが判る。

第 4 図 (a)、(b) に、エッチングによつて作つたガラスのヘッドのノズル部を示す。点線 3-0 で示すような加圧室 3-1 からノズル 3-2 に至る流路を、実験で示す流路で近似し、式 ⑩、⑪ によつて求めると、 $b_1 = 80 \mu m$ 、 $c_1 = 30 \mu m$ 、 $L_1 = 250 \mu m$ 、 $b_2 = 300 \mu m$ 、 $c_2 = 100 \mu m$ 、 $L_2 = 2 \text{ mm}$ 、 $\eta = 1.8 \text{ cP}$ 、 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ の時

$$m^2 = 1.8 \times 10^3 \quad \text{kg/m}^4$$

$$r^2 = 3.5 \times 10^{12} \quad \text{N s/m}^2$$

となる。

なお、精度よく求めるには、流路に沿つて積分するか、分割を細かくして微小部分の m と r を求め、加えてゆけば良い。

第 5 図に、圧電素子として P Z T を使つた実際の印字ヘッドの圧電素子の振動波形 (a) と、計算によつて求めた振動波形 (b) を示す。定数は $a = 1.25 \text{ mm}$ 、 $x = 1.3$ 、 $r_2 = 4 \times 10^{12} \text{ N s/m}^2$ 、 $m_1 = 2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 $t p = t v = 0.15 \text{ mm}$ 、 $C_1 = 0.22 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$ 、 $C_0 = 3.45 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$ である。振動周期が実験値の約 140 μs に対し、計算で

これを別の見方から説明すると、 m や r の流路系が一定の条件のもとで C_0 を固定すれば、式 ⑩ において $C_1 \ll C_0$ 、ゆえ $C \approx C_0$ となり、式 ⑫ から C_0 が一定であれば V もほぼ一定の値をとる。従つて、式 ⑩ から η も一定の値をとる。また式 ⑩ から円板の場合には、

$$C p = \epsilon \cdot \pi a^2 / t p \dots \dots \dots ⑬'$$

となる。一方、式 ⑩ において $t p = t v$ とすれば、 C_0 一定より a^2 / t^2 が一定となり、式 ⑬' から $C p$ も一定となる。結局、式 ⑩ において C_0 を固定すれば、流路系に関する定数等が一定であれば、他の各定数がほぼ一定の値となり、 V も変化しないことがわかる。

以上述べたことは、 $a^2 / t p$ の値がある範囲にあれば、電圧を上げることなしに圧電素子を小さくできることを示している。

また、インク滴体積 q も、式 ⑩ より C_0 の値が一定ならば、ほぼ一定になることがわかる。

次に、通常の流路で良く使われるが、 m_1 が $m_1 = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ から $3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ の間で、

r_2 を $1 \times 10^{12} \text{ No/m}^2$ から $12 \times 10^{12} \text{ No/m}^2$ まで変えた時に、第6図と同様の条件で式⑧の v を最低にする c_0 の値を、第7図に示す。つまり流路系が決まつた時に、第7図に示す c_0 とするよう振動系を選べば、駆動電圧を最低にできる。

また、この時の粒径 D_1 を第8図に示す。一般にインク径 D_1 は、 $50 \mu\text{m}$ から $150 \mu\text{m}$ 程度が望ましく、特に24ノズル等の高密度印字の場合は、粒径が余り大きいと印字品質上好ましくない。従つて、例えば第8図で $D_1 \leq 150 \mu\text{m}$ という条件をつければ、 $m_2 = 1 \times 10^8 \text{ Kg/m}^4$ の場合には $r_2 \geq 1 \times 10^{12} \text{ No/m}^2$ となり、 $m_2 = 2 \times 10^8 \text{ Kg/m}^4$ の場合には $r_2 \geq 2 \times 10^{12} \text{ No/m}^2$ となり、 $m_2 = 3 \times 10^8 \text{ Kg/m}^4$ の場合には $r_2 \geq 3 \times 10^{12} \text{ No/m}^2$ となる。つまり、第7図の実線で示した範囲が望ましいことになる。すなわち、B I系 $m \text{ Kg}$ 単位で表わした時 m_2 と r_2 の関係は $r_2 \geq 10^4 \times m_2$ であれば $150 \mu\text{m}$ 以下のインクを射出することができる。

したがつて、第7図に示した流路系の範囲では

$$v_p = 0.1 \text{ mm} \text{ とすると } 0.7 \text{ mm} \leq a \leq 1.6 \text{ mm} \text{ となる。}$$

この結果から、流路系が決まっている時、それに対して最も適した c_0 を選べば、電圧を最低にでき、 c_0 は a^3/v_p 、したがつて a^3/v_p の値によつて決まることが判る。第7図に示した一般的な流路系に対しては、式⑩を満たす範囲に最適な a の値が存在する。

また圧電素子の半径 a を小さくするに、厚さ v_p を小さくすれば良いことが判る。

一方、圧電素子の厚さ v_p の下限は、例えばPZTの場合、加工上は約 0.1 mm 、組立取扱い上の強度からは約 0.15 mm といわれている。第6図の $m_2 = 2 \times 10^8 \text{ Kg/m}^4$ 、 $r_2 = 3 \times 10^{12} \text{ No/m}^2$ の条件では、最低電圧を与える c_0 は、第7図より $c_0 = 2.1 \times 10^{-17} \text{ m}^5/\text{N}$ となり、式⑩から $a = 0.123 \sqrt{v_p}$ が得られる。

$$v_p = 0.15 \text{ mm} \text{ に対し } a = 1.5 \text{ mm}$$

$$v_p = 0.1 \text{ mm} \text{ に対し } a = 1.2 \text{ mm}$$

が最低電圧を与える半径となる。第6図で最低電圧を与える半径 a とは異なるが、これは第6図で

最低電圧を与える c_0 の値は、グラフより

$$1 \times 10^{-18} / \text{N} \leq c_0 \leq 9 \times 10^{-17} \text{ m}^5/\text{N} \quad \text{--- ⑪}$$

の範囲にある。ただし、さらに高密度な印字を要求される場合等は、 c_0 の値がより小さく、粒径のより小さいヘッドが望ましい。

v と v_p の間にも最適な関係があり、実験によると

$$v = \sqrt{\frac{K_1 R p}{K_2 B v}} \cdot v_p \quad \text{--- ⑫}$$

とすれば、良い結果が得られる。

式⑩を⑫に代入すると、

$$a = \left(\frac{2 c_0 K_1 R p v_p^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{--- ⑬}$$

が得られる。

式⑩を式⑫に代入し、 $K_1 = 4.4$ 、 $R p = 5.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ とすれば、

$$0.074 \sqrt{v_p} \leq a \leq 0.16 \sqrt{v_p} \quad \text{--- ⑭}$$

が得られる。

$$v_p = 0.2 \text{ mm} \text{ とすると } 1 \text{ mm} \leq a \leq 2.2 \text{ mm}$$

$$v_p = 0.15 \text{ mm} \text{ とすると } 0.9 \text{ mm} \leq a \leq 2.0 \text{ mm}$$

は、 $v = v_p$ としているのに対し、上記の計算では v_p と v は式⑫に $K_1 = 4.4$ 、 $R p = 5.9 \times 10^{10}$ 、 $K_2 = 11$ 、 $B v = 7 \times 10^{10}$ を代入して、 $v = 0.7 v_p$ としていることによる。なお、式⑩からは $v = 0$ である方が a を小さくできるはずであるが、実際には式⑩に示すような最適値を有する。逆に言えば、 $v \ll v_p$ では式⑩が成立たなくなり、電圧はかえつて上がる。これは圧電素子の変形が振動板のたわみに有効に働かなくなるためである。

音響容量 C_0 は、加圧室に圧力を加えた時の加圧室の体積変化と圧力との比で表わされるが、印字ヘッドの形状、圧電素子の振動方法、振動板の振動方法・材質などにより、式⑩とは少し異なる値をとることもあり、たとえば

$$C_0 = \frac{\pi a^3}{K_1 R p (v_p + K_2 v)} \quad \text{--- ⑭'}$$

の方が良く実験と合う場合もある。実験では、

定数： $K_1 = 5$ 、 $K_2 = 0.4$ 又は $K_2 = 1$ であつた。

ただし、式⑭'を用いる場合も、 $v = v_p$ とし

て考えれば、式④を用いた場合と同様な考え方ができる。

また第6図から、ある圧電素子の厚さ t_p に対し、最低電圧を与える半径 a の近くでは急激な電圧の上昇はないから、半径 a をより小さく選ぶことが可能である。たとえば第6図で $t_p = 0.15 \mu m$ に対し最適な半径 a は約 $1.75 \mu m$ であるが、駆動電圧が約80Vから100Vまで上昇することを許容すれば、 a を $1.2 \mu m$ とすることができ、向様に $t_p = 0.1 \mu m$ に対しては、 a を $0.9 \mu m$ とすることができ、さらに第7図の例のように、 $t_p = 0.7 \mu m$ とすれば、上記の値よりもさらに a を小さくできる。

次に、圧電素子の厚さ t_p の下限に対する別の検討を行なう。前述した下限は、圧電素子の強度的な面での下限であるが、耐電圧による下限を考える必要がある。

第9図に、第6図と同じ条件下で電界の強さ V/t_p を計算した結果を示す。一般的にPZTの絶縁破壊強度は約3KV/mmないし4KV/mmとい

われており、第9図から $t_p = 25 \mu m$ や $t_p = 50 \mu m$ でも使えることになる。したがって製造技術などの進歩により、 $25 \mu m$ 、 $50 \mu m$ の圧電素子が使えれば、さらに半径 a を小さくすることが可能である。また蒸着、スパッタなどによるPZTなどの薄膜でも、半径 a の小さい印字ヘッドを得ることは可能である。ただし、一般的に湿度の上昇などにより耐電圧は低下し、高湿度の条件下でも安全にインク射出を行なうには、電界は1KV/mm以下で用いる方が望ましい。この条件下では、第9図から $t_p = 50 \mu m$ は使えず $t_p = 0.1 \mu m$ に対しては $0.9 \mu m \leq a \leq 1.7 \mu m$ 、 $t_p = 0.15 \mu m$ に対しては $0.8 \mu m \leq a \leq 2.2 \mu m$ 、 $t_p = 0.2 \mu m$ に対しては $0.8 \mu m \leq a \leq 2.6 \mu m$ である必要がある。

以上述べたことをまとめると、

1. 流路系が決まると、駆動電圧を最低にする C_0 が存在する。
2. C_0 は a^3/t_p により決まる。したがって a を小さくするには t_p を小さくすれば良い。

3. t_p の下限は、耐電圧の点からは $t_p = 25 \mu m$ でも良い。しかし湿度の影響などを考えると、 $t_p \geq 0.1 \mu m$ が望ましい。

4. 加工上、取扱上の下限は、 $t_p = 0.1 \mu m$ ないし $t_p = 0.15 \mu m$ である。さらに安全側をみれば、 $t_p = 0.2 \mu m$ である。

5. $t_p = 0.2 \mu m$ に対し、 $1 \mu m \leq a \leq 2.2 \mu m$ 、 $t_p = 0.15 \mu m$ に対し $0.9 \mu m \leq a \leq 2.0 \mu m$ 、 $t_p = 0.1 \mu m$ に対し $0.7 \mu m \leq a \leq 1.6 \mu m$ に最適な a が存在する。

6. 少しの電圧上昇を許容すれば、上記5で述べた範囲より小さな a を選ぶことが可能である。

以上述べた説明では、圧電素子、加圧室を円板状であるとしているが、楕円、多角形等についても同様な考え方ができる。もちろん形状に合わせて、式④等を変形させることは必要である。なお、細長い長方形の圧電素子とすると、剛性があがり C_0 が小さくなるため、円板ないしは正方形の圧電素子にくらべ厚さを得くするか、逆に面積を増

加させねばならず、大きさの面では不利となる。したがって長方形の場合でも幅と長さ1:2をこえないことが望ましい。

第10図に、本発明により小型化した加圧室を有するガラス製の印字ヘッドの実施例を示す。この例では、PZT100の半径 $a = 1.25 \mu m$ 、厚さ $t_p = 0.15 \mu m$ であり、図のように円板状の加圧室101を交互に組合わせることで、さらに小型化している。この例では、片面12ノズルを両面に形成した $2.2 \mu m \times 1.8 \mu m \times 2 \mu m$ の寸法の24ノズルヘッドを得ている。なお各加圧室に連通する供給路102と流出路103のイナータンス τ 、音響抵抗 r は、各加圧室間で長さ、幅等によつて略同一にしてあり、各ノズル毎のインク速度、インク粒径等をそろえている。なお104はゴミの侵入を防ぐフィルタ、105は加圧室101内のインクの流れを均一にする為部で、エッチングにより他の流路と同時に作られる。

以上の実施例でわかるように、本発明によれば、厚さ t_p の小さい圧電素子を選ぶことで、駆動電

圧を上げることなく圧電素子の面積を小さくできる。

なお以上の説明では、現状で最も望ましい圧電材料としてPZTで説明しているが、他の圧電材料においても本発明と同様の考え方によつて、印字ヘッドを小型化することが考えられる。

また本発明では、1枚の圧電素子と1枚の振動板によつて振動系を構成しているが、バイモルフのような複数の圧電素子により振動系を構成したり、加圧室の両面に振動系を設けたりすることで、印字ヘッドをさらに小型にすることも考えられる。

なお以上の実施例では、印字信号により加圧室の容積を減少させて印字を行なう例で説明した。

その他に、印字信号により加圧室の容積を増加させ、振動系や流体の動的な運動を利用しつつ加圧室の容積の復元により印字を行なう方法も提案されている。この方法によれば、前記の容積減少により直接的にインク射出を行なう方法よりも駆動電圧の下がる可能性があり、この場合に適用すれば、さらに電圧が下がるため、半径 a を最適値と

りもさらに小さくすることが可能となる。

以上述べたように、本発明によれば、流路系に通した振動系を過渡することで駆動電圧を下げ、圧電素子を薄くすることで圧電素子の面積を小さくし、印字ヘッド全体の面積をへらすとともに、ノズルから加圧室までの距離を短くすることで流路のインピーダンスを下げて、さらに駆動電圧低下に役立つ。また小さい圧電素子を使うことと、印字ヘッド自体を小さくすることでヘッド製造コストを下げ、さらには印字ヘッドの移動に用いられるモータを印字ヘッドが小型化されるため小型低価格にできるなど、多くの利点を有し、高集積化されたマルチヘッドのシリアルプリンタだけでなく、各種プリンタ、プロッタ、ファクシミリなどに広く応用できる。

4. 図面の簡単な説明

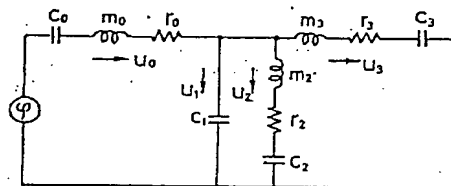
第1図(a)(b)、第2図は、本発明の考え方を示す等価電気回路、第3図(a)(b)、第4図(a)(b)は、本発明の計算に用いられる定数を示す図、第5図(a)(b)

は本発明に用いられる計算と実験との比較を示すグラフ、第6図は本発明の計算による駆動電圧のグラフ、第7図は本発明の計算による最適音響容量を示すグラフ、第8図は第7図と同条件での口径を示す図、第9図は第6図と同条件での電界の強さを示す図、第10図は本発明を応用した印字ヘッドの一実施例を示す平面図である。

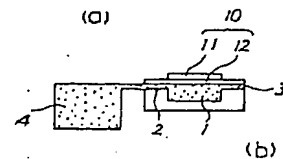
- C_0 …… 振動系の音響容量
- C_1 …… 加圧室の音響容量
- m_1 …… 供給部のイナータンス
- r_1 …… 供給部の音響抵抗
- m_2 …… ノズル部のイナータンス
- r_2 …… ノズル部の音響抵抗
- 11 …… 圧電素子
- 12 …… 振動板
- 100 …… PZT

以上

エプソン株式会社
出願人 株式会社 阪 助 精 工 舎
代理人 代理人 最 上 務

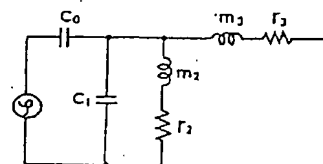


(a)

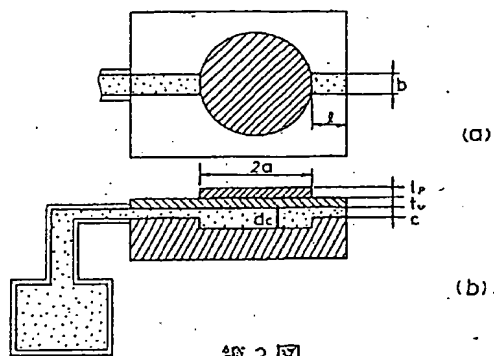


(b)

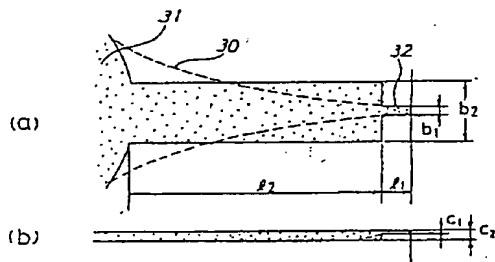
第1図



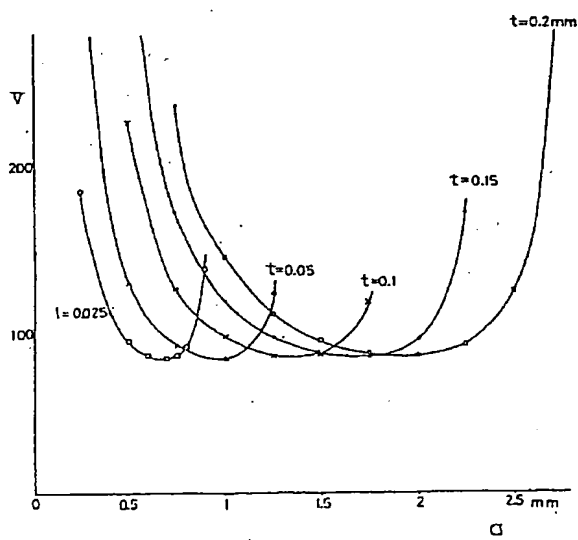
第2図



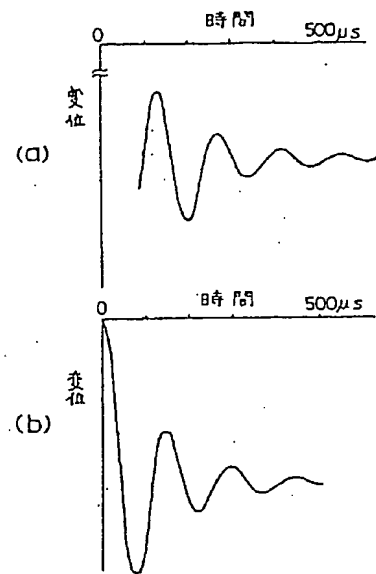
第 3 図



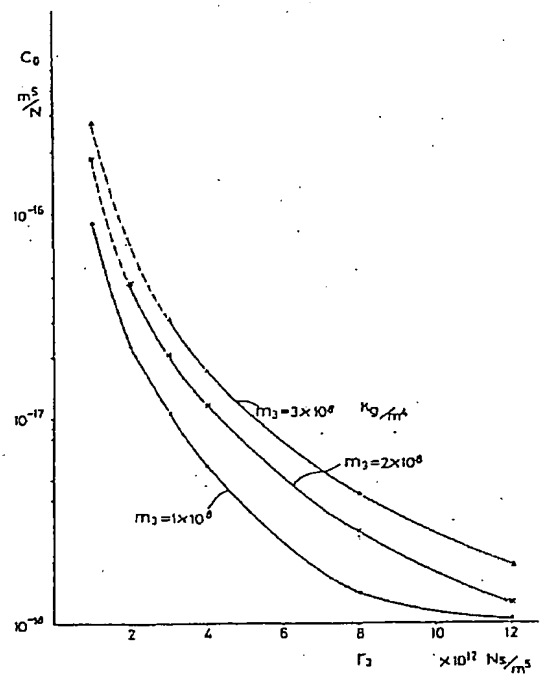
第 4 図



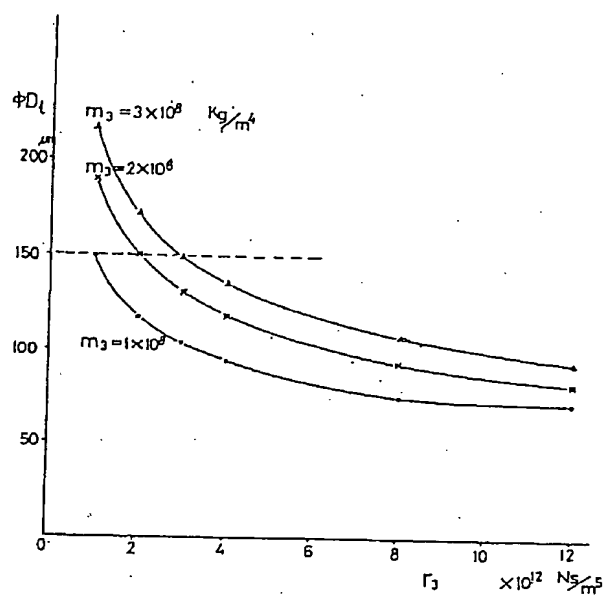
第 6 図



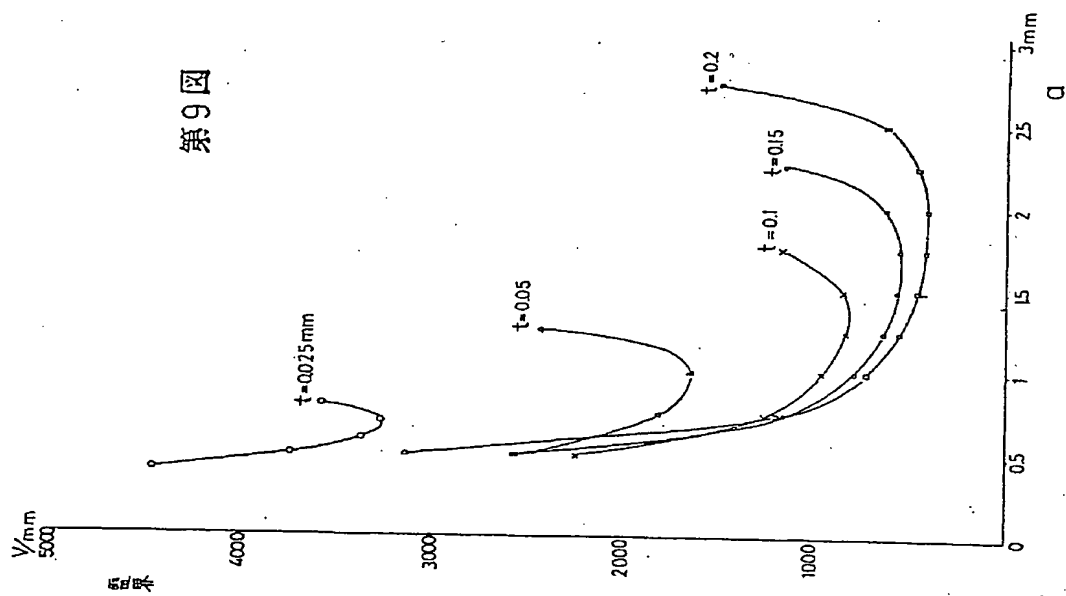
第 5 図



第 7 図



第8図



第9図